



PCT
WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
 Internationales Büro
INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

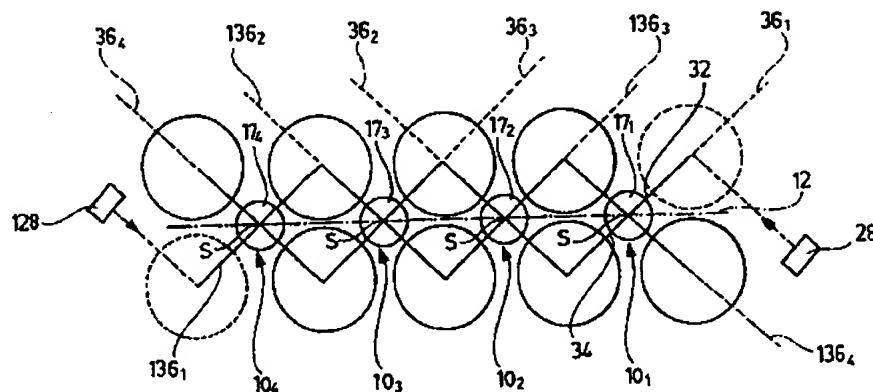
(51) Internationale Patentklassifikation 7 :	A2	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 00/08726
H01S		(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 17. Februar 2000 (17.02.00)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP99/05128		(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).
(22) Internationales Anmeldedatum: 19. Juli 1999 (19.07.99)		
(30) Prioritätsdaten: 198 35 108.9 4. August 1998 (04.08.98) DE		Veröffentlicht <i>Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.</i>
(71) Anmelder (<i>für alle Bestimmungsstaaten ausser US</i>): UNIVERSITÄT STUTTGART INSTITUT FÜR STRAHLWERKZEUGE [DE/DE]; Pfaffenwaldring 43, D-70569 Stuttgart (DE).		
(72) Erfinder; und		
(75) Erfinder/Anmelder (<i>nur für US</i>): CONTAG, Karsten [DE/DE]; Sternecker Strasse 16, D-70563 Stuttgart (DE). ERHARD, Steffen [DE/DE]; Untertürkheimer Strasse 20, D-70734 Fellbach (DE). GIESEN, Adolf [DE/DE]; Kornblumenweg 21, D-71272 Renningen (DE). KARSZEWSKI, Martin [DE/DE]; Montessori Strasse 22, D-71272 Renningen (DE). STEWEN, Christian [DE/DE]; Asternweg 2, D-70771 Leinfelden-Echterdingen (DE). VOSS, Andreas [DE/DE]; Haldenweg 6, D-78713 Schramberg (DE).		
(74) Anwälte: BECK, Jürgen usw.; Hoeger, Stellrecht & Partner, Uhlandstrasse 14 c, D-70182 Stuttgart (DE).		

(54) Title: LASER AMPLIFICATION SYSTEM

(54) Bezeichnung: LASERVERSTÄRKERSYSTEM

(57) Abstract

The purpose of the present invention is to create a laser amplification system that comprises the following members: a plurality of solid-body volumes comprising a laser-effect medium; a pumping radiation source; and a pumping radiation reflector which allows a branch of the pumping radiation field penetrating into the solid-body volume to cross repeatedly said solid-body volume in the form of an exiting branch so that the entering branch and the exiting branch form a first pumping splice. The system



also includes a first pumping-radiation path through which the first pumping splices from the pumping radiation field flow during a first sequence. The individual solid-body volumes are submitted as regularly as possible to the action of the pumping power. This invention also provides that each pumping body volume is crossed by a second pumping splice in which the entering branch and the exiting branch are located on a second plane that is different from the first one. This invention also provides a second pumping-radiation path through which the second splices from the pumping radiation field flow during a second sequence. During this second sequence, the order of the solid-body volumes is modified relative to the first sequence.

(57) Zusammenfassung

Um ein Laserverstärkersystem umfassend mehrere ein laseraktives Medium aufweisende Festkörpervolumina, eine Pumpstrahlungsquelle, einen Pumpstrahlungsreflektor, der einen in das Festkörpervolumen einfallenden Ast des Pumpstrahlungsfeldes als ausfallenden Ast durch das Festkörpervolumen erneut so hindurchtreten läßt, daß der einfallende Ast und der ausfallende Ast einen ersten Pumpzweig bilden, einen ersten Pumpstrahlungsdurchlauf, in welchem die ersten Pumpzweige vom Pumpstrahlungsfeld in einer ersten Sequenz durchlaufen werden, zu schaffen, bei welchem die einzelnen Festkörpervolumina möglichst gleichmäßig mit Pumpleistung beaufschlagt sind, wird vorgeschlagen, daß jedes Festkörpervolumen von einem zweiten Pumpzweig durchsetzt ist, dessen einfallender Ast und dessen ausfallender Ast in einer zweiten von der ersten Ebene verschiedenen Ebene liegen, daß ein zweiter Pumpstrahlungsdurchlauf vorgesehen ist, in welchem die zweiten Pumpzweige vom Pumpstrahlungsfeld in einer zweiten Sequenz durchlaufen werden und daß in der zweiten Sequenz die Reihenfolge der Festkörpervolumina bezogen auf die erste Sequenz geändert ist.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolien	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauritanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LV	Lettland	SE	Sweden		
DK	Dänemark						

WO 00/08726

PCT/EP99/05128

- 1 -

Laserverstärkersystem

Die Erfindung betrifft ein Laserverstärkersystem umfassend mehrere ein laseraktives Medium aufweisende Festkörpervolumina, eine Pumpstrahlungsquelle zur Erzeugung eines Pumpstrahlungsfeldes zum optischen Pumpen des laseraktiven Mediums, einen jedem Festkörpervolumen zugeordneten Pumpstrahlungsreflektor, der einen in das Festkörpervolumen einfallenden Ast des Pumpstrahlungsfeldes als ausfallenden Ast durch das Festkörpervolumen erneut so hindurchtreten läßt, daß der einfallende Ast und der ausfallende Ast in einer Ebene liegend einen Winkel miteinander einschließen und dabei einen ersten Pumpzweig bilden, einen ersten Pumpstrahlungsdurchlauf durch die Festkörpervolumina, in welchem die ersten Pumpzweige so aufeinanderfolgend angeordnet sind, daß die mehreren Festkörpervolumina vom Pumpstrahlungsfeld in einer ersten Sequenz durchlaufen werden.

Derartige Laserverstärkersysteme sind beispielsweise aus der EP 0 632 551 bekannt.

Bei Laserverstärkungssystemen mit mehreren laseraktiven Medium aufweisenden Festkörpervolumina besteht das Problem, daß eine Pumplichtanregung der einzelnen Festkörper mit unterschiedlicher Pumpleistung erfolgt.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Laserverstärkersystem mit mehreren Festkörpervolumina zu schaffen,

WO 00/08726

PCT/EP99/05128

- 2 -

bei welchem die einzelnen Festkörpervolumina möglichst gleichmäßig mit Pumpleistung beaufschlagt sind.

Diese Aufgabe wird bei einem Laserverstärkersystem der eingangs beschriebenen Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß jedes Festkörpervolumen von einem zweiten Pumpzweig durchsetzt ist, dessen einfallender Ast und dessen ausfallender Ast in einer zweiten, von der ersten Ebene verschiedenen Ebene liegen und in dieser einen Winkel miteinander einschließen, daß ein zweiter Pumpstrahlungsdurchlauf vorgesehen ist, in welchem die zweiten Pumpzweige der mehreren Festkörpervolumina so aufeinanderfolgend angeordnet sind, daß die Festkörpervolumina vom Pumpstrahlungsfeld in einer zweiten Sequenz durchlaufen werden.

Der Vorteil der erfindungsgemäßen Lösung ist darin zu sehen, daß mit dem zweiten Pumpstrahlungsdurchlauf die Möglichkeit geschaffen ist, jedes der Festkörpervolumen mit derselben Zahl von Pumpzweigen zu pumpen und zusätzlich aufgrund der Tatsache, daß die beiden Pumpzweige in unterschiedlichen Ebenen liegen, auch noch die Pumpleistung in dem zu pumpenden Festkörpervolumen möglichst gleichmäßig einzubringen.

Dies hat insbesondere im Hinblick auf die bei der erfindungsgemäßen Lösung vorgesehenen Art der dünnen scheibenförmigen Festkörper, die vorzugsweise mit einer Flachseite auf einer Kühlfläche liegen, den Vorteil, daß damit die Ausbildung eines möglichst gleichmäßigen Temperaturverlaufs mit zu den Flachseiten des Festkörpers parallel verlaufenden Ebenen im wesentlichen gleicher Temperatur erleichtert ist, die für das

- 3 -

vorteilhafte Arbeiten im Rahmen des erfindungsgemäßen Konzepts wesentlich ist.

Besonders günstig ist es, wenn in der zweiten Sequenz die Reihenfolge der Festkörper bezogen auf die erste Sequenz geändert ist. Diese Lösung erlaubt durch die geänderte Reihenfolge der Intensitätsabnahme in der Sequenz entgegenzuwirken.

Hinsichtlich der Art der Speisung des ersten und zweiten Pumpstrahlungsdurchlaufs wurden bislang keine näheren Angaben gemacht. So sieht ein vorteilhaftes Ausführungsbeispiel vor, daß jeder der Pumplichtstrahlungsdurchläufe von einer eigenen Pumpstrahlungsquelle gespeist ist, wobei vorzugsweise vorgesehen ist, daß die Pumpstrahlungsquellen im wesentlichen dieselbe Leistung aufweisen.

Eine andere alternative Ausführungsform sieht vor, daß die Pumpstrahlungsdurchläufe von einer einzigen Pumpstrahlungsquelle gespeist sind. Dies hat den Vorteil, daß - sofern die Strahlungsleistung einer einzigen Pumpstrahlungsquelle ausreichend ist - diese für beide Pumpstrahlungsdurchläufe eingesetzt werden kann.

Dabei bestehen unterschiedliche Möglichkeiten, die Speisung der beiden Pumpstrahlungsdurchläufe mit einer Pumpstrahlungsquelle zu realisieren.

WO 00/08726

PCT/EP99/05128

- 4 -

Eine Möglichkeit besteht darin, das Pumpstrahlungsfeld aus der Pumpstrahlungsquelle durch einen Strahlteiler auf die beiden Pumpstrahlungsdurchläufe zu verteilen.

Diese Lösung hat den Vorteil, daß damit die Möglichkeit besteht, beide Pumpstrahlungsdurchläufe mit Pumpstrahlungsfeldern von im wesentlichen derselben Intensität zu versorgen.

Eine andere vorteilhafte Lösung sieht vor, daß die Pumpstrahlungsdurchläufe durch eine Umlenkoptik miteinander gekoppelt sind, das heißt, daß das Pumpstrahlungsfeld mit der Intensität, die am Ende eines der Pumpstrahlungsdurchläufe noch vorhanden ist, durch eine Umlenkoptik so eingekoppelt wird, daß dieses den nächsten Pumpstrahlungsdurchlauf speist. Diese Lösung ist insbesondere dann zweckmäßig, wenn die absorbierte Intensität pro Pumpstrahlungsdurchlauf nicht sehr groß ist, so daß nach den ersten Pumpstrahlungsdurchlauf dennoch eine Leistung des Pumpstrahlungsfeldes zur Verfügung steht, welche ausreichend groß ist, um den zweiten Pumpstrahlungsdurchlauf zu speisen.

Prinzipiell ist im Rahmen der erfindungsgemäßen Lösung vorgesehen, daß das Pumpstrahlungsfeld jeden Pumpstrahlungsdurchlauf in einer Richtung durchläuft. Zur Verbesserung des Pumpens der Festkörper ist es ferner jedoch vorteilhaft, wenn das Pumpstrahlungsfeld jeden Pumpstrahlungsdurchlauf in zwei entgegengesetzten Richtungen durchläuft. Dies ist unabhängig davon, ob zwei Pumpstrahlungsquellen zum Speisen der Pumpstrahlungsdurchläufe vorgesehen sind oder nur eine Pumpstrahlungsquelle, deren Leistung in den bereits beschriebenen

WO 00/08726

PCT/EP99/05128

- 5 -

unterschiedlichen Art und Weisen in die Pumpstrahlungsdurchläufe eingekoppelt werden kann.

Eine besonders einfach realisierbare Lösung, bei welcher jeder Pumpstrahlungsdurchlauf von dem Pumpstrahlungsfeld zweimal durchlaufen wird, sieht vor, daß an einem Ende jedes Pumpstrahlungsdurchlaufs ein Reflektor angeordnet ist, der das aus dem Pumpstrahlungsdurchlauf austretende Pumpstrahlungsfeld zurückreflektiert.

Im Zusammenhang mit den bisherigen Lösungen wurde lediglich spezifiziert, daß die Reihenfolge der Festkörpervolumina in der zweiten Sequenz anders sein soll als in der ersten Sequenz. Dies ist in unterschiedlichster Art und Weise realisierbar, insbesondere dann in unterschiedlicher Art und Weise, wenn nicht nur eine erste Sequenz und eine zweite Sequenz vorgesehen sind, sondern mehrere, über die erste und die zweite Sequenz hinausgehende Sequenzen. Im einfachsten Fall einer ersten und zweiten Sequenz ist jedoch vorzugsweise vorgesehen, daß die Reihenfolge der Festkörpervolumina in der zweiten Sequenz bezogen auf die erste Sequenz umgekehrt ist.

Bislang wurde im Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Lösung spezifiziert, daß es einen ersten Pumpstrahlungsdurchlauf und einen zweiten Pumpstrahlungsdurchlauf gibt. Die erfindungsgemäße Lösung ist jedoch nicht auf zwei Pumpstrahlungsdurchläufe mit ersten bzw. zweiten Pumpzweigen limitiert. Vielmehr besteht bei einer weiteren erfindungsgemäßen Lösung die Möglichkeit, daß mindestens ein weiterer Pumpstrahlungsdurchlauf vorgesehen ist, bei welchem das Pumpstrahlungsfeld die Festkörper in Form mindestens einer

WO 00/08726

PCT/EP99/05128

- 6 -

weiteren Sequenz durchläuft. Der Vorteil dieser Lösung ist darin zu sehen, daß damit eine noch gleichmäßige Anregung der Festkörper realisierbar ist.

Besonders günstig läßt sich dies dann realisieren, wenn die mindestens eine weitere Sequenz so verläuft, daß diese unterschiedlichen Pumpanregungen des laseraktiven Materials im Festkörpervolumen durch die erste und die zweite Sequenz entgegenwirkt.

In ~~ab~~besondere ist es vorteilhaft, wenn die Zahl der Pumpstrahlungsdurchläufe eine gerade Zahl ist, so daß sich besonders günstig die Tatsache kompensieren läßt, daß bei jedem Pumpstrahlungsdurchlauf das Pumpstrahlungsfeld von einem Pumpzweig zum anderen Pumpzweig mit geringerer Leistung pumpt.

Hinsichtlich der Art, wie die einzelnen Pumpzweige eines Pumpstrahlungsdurchlaufs gekoppelt sind, wurden keine Angaben im Detail gemacht. So sieht eine vorteilhafte Ausführungsform vor, daß die einzelnen Pumpzweige eines Pumpstrahlungsdurchlaufs durch Refokussierungsoptiken gekoppelt sind.

Diese Refokussierungsoptiken können in unterschiedlichster Art und Weise ausgebildet sein. So sieht eine Art der Ausbildung vor, daß die Refokussierungsoptiken den ausfallenden Ast eines Pumpzweigs direkt in den entsprechenden einfallenden Ast des nächsten Pumpzweiges abbilden.

Der Vorteil dieser Lösungen liegt in ihrer Einfachheit. Diese Lösungen haben jedoch das Problem, daß sich entweder der Pumplichtstrahlungsfleck vergrößert oder ein Querschnitt des

- 7 -

Pumpstrahlungsfeldes von Refokussierungsoptik zu Refokussierungsoptik immer größer wird.

Aus diesem Grund sieht eine diesbezüglich verbesserte erfundungsgemäße Lösung vor, daß mindestens eine der Refokussierungsoptiken als zwischenkollimierende Refokussierungsoptik ausgebildet ist und jeweils den ausfallenden Ast über einen zwischenkollinierten Ast in den entsprechenden einfallenden Ast abbildet. Diese Lösung hat den Vorteil, daß durch die Zwischenkollimation die Möglichkeit besteht, eine Vergrößerung des Querschnitts des Pumpstrahlungsfeldes zu vermeiden.

Vorzugsweise sind dabei die zwischenkollinierten Äste so ausgebildet, daß deren Abbildung der Abbildung entspricht, die man bei der Summe der Brennweiten der beiderseits des zwischenkollinierten Asts vorgesehenen Optiken erhält. Im Fall von Optiken gleicher Brennweite beiderseits des zwischenkollinierten Astes beträgt die Abbildung des zwischenkollinierten Astes einer solchen mit doppelter Brennweite.

Besonders günstig ist es dabei, wenn sämtliche Refokussierungsoptiken als zwischenkollimierende Refokussierungsoptiken ausgebildet sind, so daß im gesamten Verlauf des jeweiligen Pumpstrahlungsdurchlaufs keine nennenswerte Vergrößerung des Querschnitts des Pumpstrahlungsfelds erfolgt und somit weder die Notwendigkeit besteht, einen Teil des Strahlungsfeldes nicht abzubilden oder die Refokussierungsoptiken der zunehmenden Größe des Querschnitts der Pumpstrahlungsfelder anzupassen.

WO 00/08726

PCT/EP99/05128

- 8 -

Eine besonders vorteilhafte Realisierung einer zwischenkollimierenden Refokussierungsoptik sieht vor, daß diese einen gefalteten kollimierten Ast aufweist. Ein derartiger gefalteter kollimierter Ast schafft insbesondere die Möglichkeit, die Refokussierungsoptiken raumsparend auszubilden.

Ferner schafft eine Faltung des kollimierten Astes die Möglichkeit, die in die jeweiligen Festkörper einfallenden Äste so anzuordnen, daß diese immer von derselben Seite der Festkörpervolumina in diese einfallen.

Hinsichtlich der Ausbildung der zwischenkollimierenden Refokussierungsoptiken im einzelnen wurden bislang keine näheren Angaben gemacht. So ist es zur Erzeugung eines gefalteten kollimierten Astes günstig, wenn die zwischenkollimierenden Refokussierungsoptiken ein Umlenkelement zur Faltung des zwischenkollimierten Astes aufweisen.

Zum Einsparen von Bauteilen bei den bauteilaufwendigen zwischenkollimierenden Refokussierungsoptiken ist vorzugsweise vorgesehen, daß jeweils eine der zwischenkollimierenden Refokussierungsoptiken des ersten und eine der zwischenkollimierenden Refokussierungsoptiken des zweiten Pumpstrahlungsdurchlaufs den jeweiligen zwischenkollimierten Ast auf ein gemeinsames Umlenkelement abbilden, so daß nur ein Umlenkelement für je zwei Refokussierungsoptiken erforderlich ist.

Ferner wurden hinsichtlich der Ausbildung der zwischenkollimierenden Refokussierungsoptiken insgesamt keine näheren Angaben gemacht. So ist günstigerweise vorgesehen, daß die

- 9 -

zwischenkollimierenden Refokussierungsoptiken ein kollimierendes Element aufweisen, welches den jeweils ausfallenden Ast in den zwischenkollinierten Ast abbildet.

Ferner ist es günstig, wenn die zwischenkollimierenden Refokussierungsoptiken ein fokussierendes Element aufweisen, welches den zwischenkollinierten Ast in den jeweils einfallenden Ast abbilden.

Hinsichtlich der optischen Elemente, die in den Refokussierungsoptiken Verwendung finden, wurden bislang noch keine näheren Angaben gemacht.

Hinsichtlich der Einfachheit im Aufbau und des Raumbedarfs hat es sich als besonders vorteilhaft erwiesen, wenn die Refokussierungsoptiken Hohlspiegel umfassen, wobei die Hohlspiegel insbesondere dazu dienen, die ausfallenden Äste eines Pumpzweigs direkt in die entsprechenden einfallenden Äste des nächsten Pumpzweigs umzuformen oder dazu dienen, als kollimierende und fokussierende Elemente zu wirken.

Um besonders gute optische Abbildungen zu erhalten, ist vorzugsweise vorgesehen, daß die Hohlspiegel als nicht sphärische Spiegel ausgebildet sind, da mit sphärischen Spiegeln stets eine nicht unerhebliche Verzerrung auftritt, die bei Mehrfachumformung des Pumpstrahlungsfelds die Qualität der optischen Abbildung dann zu sehr verschlechtert.

Ein Ausführungsbeispiel, insbesondere bei Hohlspiegeln, welche einen ausfallenden Ast eines Pumpzweigs direkt in einen einfallenden Ast des nächsten Pumpzweigs umformen,

WO 00/08726

PCT/EP99/05128

- 10 -

sieht vor, daß die Hohlspiegel als elliptische Spiegel ausgebildet sind, mit der elliptischen Form der Spiegel läßt sich dabei unter Anpassung der Form eine gute Qualität der optischen Abbildung erreichen.

Eine andere alternative Ausführungsform, insbesondere eine solche, bei welcher der Hohlspiegel ein kollimierendes oder fokussierendes Element darstellen soll, sieht vor, daß der Hohlspiegel als parabolischer Spiegel ausgebildet ist, da ein parabolischer Spiegel stets in der Lage ist, einen kollimierten Ast zu fokussieren oder umgekehrt einen divergenten Ast zu kollimieren.

Sowohl die Verwendung von elliptischen Spiegeln als auch die Verwendung von parabolischen Spiegeln ist kostenintensiv, da diese Spiegel aufwendig herzustellen sind.

Aus diesem Grund sieht eine vorteilhafte Lösung vor, daß die Hohlspiegel als torische Spiegel ausgebildet sind. Derartige torische Spiegel können sowohl elliptische Spiegel als auch parabolische Spiegel ersetzen, wobei die Qualität der optischen Abbildungen insbesondere bei langen Brennweiten noch ausreichend gut ist.

Hinsichtlich der Anordnung der Festkörpervolumina relativ zueinander wurden keine näheren Angaben gemacht. So wären prinzipiell die unterschiedlichsten Anordnungen der Festkörpervolumina relativ zueinander denkbar. Konstruktiv besonders günstig läßt sich das erfindungsgemäße Konzept dann realisieren, wenn die Festkörpervolumina längs einer Linie angeordnet sind, wobei die Linie prinzipiell eine gekrümmte oder

WO 00/08726

PCT/EP99/05128

- 11 -

eine gerade Linie sein kann. Besonders raumsparend lassen sich die einzelnen Refokussierungsoptiken dann anordnen, wenn die Festkörpervolumina längs einer geraden Linie angeordnet sind.

Ferner ist vorzugsweise vorgesehen, daß alle Reflexionsflächen der den Festkörpervolumina zugeordneten Reflektoren in einer gemeinsamen Ebene liegen. In diesem Fall liegen die dann durch die Festkörpervolumina hindurchverlaufenden ersten und zweiten Pumpzweige des Pumpstrahlungsfeldes in Ebenen, die senkrecht auf der gemeinsamen Ebene der Reflexionsflächen aller Reflektoren stehen.

Vorzugsweise lassen sich in diesem Fall die Refokussierungselemente auf unterschiedlichen Seiten einer senkrecht auf den Reflexionsflächen stehenden und durch die Linie hindurchverlaufenden Fläche anordnen, wobei sich vorzugsweise ein Pumpzweig des Pumpstrahlungsfeldes zwischen einem auf einer Seite der Fläche liegenden Refokussierungselement zu einem auf der anderen Seite der Flächen liegenden Refokussierungselement erstreckt.

Hinsichtlich der unterschiedlichen Ebenen, in welchen die ersten und zweiten Pumpzweige liegen sollen, wurden bislang ebenfalls keine näheren Angaben gemacht. So sieht ein vorteilhaftes Ausführungsbeispiel vor, daß die Ebenen, in welchen die ersten und zweiten Pumpzweige liegen, in einem Winkel von kleiner gleich 90° schneiden.

Hinsichtlich der Anordnung der Festkörpervolumina wurde im Zusammenhang mit der bisherigen Erläuterung der einzelnen

WO 00/08726

PCT/EP99/05128

- 12 -

Ausführungsbeispiele keine näheren Angaben gemacht. So wäre es beispielsweise denkbar, insbesondere bei einer räumlich sehr kleinen Ausführung der erfindungsgemäßen Lösung, sämtliche Festkörpervolumina in einem Festkörper vorzusehen. Aus Gründen der räumlichen Ausführung ist es insbesondere bei großen Leistungen und somit großen Festkörpervolumina vorteilhaft, wenn die mehreren laseraktives Medium aufweisenden Festkörpervolumina in mehreren Festkörpern angeordnet sind, wobei nach wie vor in jedem Festkörper eine Mehrzahl von Festkörpervolumina vorgesehen sein kann.

Insbesondere beim Erreichen von großen Leistungen ist es vorteilhaft, wenn jedes laseraktives Medium aufweisende Festkörpervolumen in einem eigenen Festkörper angeordnet ist, so daß insbesondere bei großen Leistungen in dem jeweiligen Festkörper für eine optimale Kühlung desselben gesorgt werden kann.

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung sind Gegenstand der nachfolgenden Beschreibung sowie der zeichnerischen Darstellung einiger Ausführungsbeispiele.

In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 eine schematische Draufsicht auf ein erfindungsgemäßes Laserverstärkersystem in Richtung des Pfeils A in Fig. 2 mit schematisch ange deutetem Verlauf der Pumpzweige und Pumpstrahlungsdurchläufe;

WO 00/08726

PCT/EP99/05128

- 13 -

Fig. 2 eine perspektivische schematische Darstellung des in Fig. 1 dargestellten ersten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Laserverstärkersystems mit räumlich dargestelltem erstem Pumpstrahlungsdurchlauf und einem durch eine gestrichelte Mittellinie dargestellten zweiten Pumpstrahlungsdurchlauf;

Fig. 3 eine Darstellung ähnlich Fig. 1 eines zweiten Ausführungsbeispiels;

Fig. 4 eine Darstellung ähnlich Fig. 1 eines dritten Ausführungsbeispiels mit zwischenkollimierenden Refokussierungselementen;

Fig. 5 eine schematische perspektivische Darstellung des dritten Ausführungsbeispiels gemäß Fig. 4 mit voll durchgezeichnetem erstem Pumpstrahlungsdurchlauf und durch gestrichelte Mittellinien angedeutetem zweitem Pumpstrahlungsdurchlauf;

Fig. 6 eine schematische perspektivische Darstellung eines Laserresonators des dritten Ausführungsbeispiels ohne Darstellung des Pumpstrahlungsfeldes und

WO 00/08726

PCT/EP99/05128

- 14 -

Fig. 7 eine schematische Darstellung ähnlich Fig. 1 eines vierten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Lösung.

Ein in Fig. 1 und 2 dargestelltes erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Laserverstärkersystems umfaßt mehrere Festkörper 10, in diesem Fall die Festkörper 10₁ bis 10₄, welche beispielsweise längs einer Linie 12 angeordnet sind, die sowohl eine gerade als auch eine gebogene Linie sein kann. Jeder der Festkörper 10 weist ein mit einem Pumpstrahlungsfeld zu pumpendes laseraktives Medium in einem Festkörpervolumenbereich desselben auf.

Jeder der Festkörper 10 ist als flache Scheibe mit zwei einander gegenüberliegenden leicht gewölbten oder ebenen Flachseiten ausgebildet und liegt mit einer rückwärtigen Flachseite 14 jeweils auf einem Reflektor 16 auf, welcher seinerseits auf einem Kühlfinger 18 angeordnet ist, so daß eine Kühlung des Festkörpers 10 durch den Kühlfinger 18 über den Reflektor 16 erfolgt.

Durch die vordere Flachseite 20 tritt einerseits das Pumpstrahlungsfeld in den Festkörper 10 ein, um das laseraktive Medium zu pumpen und andererseits tritt durch die vordere Flachseite 20 auch die Laserstrahlung aus, deren Führung in den Figuren 1 und 2 aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht im einzelnen dargestellt ist.

Erfindungsgemäß ist der Reflektor 16 so ausgebildet, daß er mindestens das Pumpstrahlungsfeld vorzugsweise aber auch die sich ausbildende Laserstrahlung reflektiert.

WO 00/08726

PCT/EP99/05128

- 15 -

Hinsichtlich der Art der Ausbildung des Festkörpers 10 und der Art des Pumpens des Festkörpers 10, der Anordnung des Reflektors 16 und des Kühlfingers 18 wird auf die EP 0 632 551 vollinhaltlich Bezug genommen.

Das Pumpstrahlungsfeld 30 bildet, wie in Fig. 1 und 2 dargestellt, einen in den Festkörper 10, einfallenden Ast 32₁ des Pumpstrahlungsfeldes 30, welcher nach Hindurchtreten durch den Festkörper 10 von dem Reflektor 16 reflektiert wird und als ausfallender Ast 34₁ den Festkörper nochmals von seiten des Reflektors 16 her durchsetzt.

Der einfallende Ast 32₁ und der ausfallende Ast 34₁ verlaufen dabei parallel und symmetrisch zu einer Ebene 36 und bilden einen als Ganzes mit 38₁ bezeichneten Pumpzweig für den ersten Festkörper 10₁.

Vorzugsweise ist der einfallende Ast 32₁ auf den Festkörper 10 fokussiert, beispielsweise mittels einer Fokussierungs-optik 40, welche einen einfallenden kollimierten Ast 42 des Pumpstrahlungsfeldes 30 auf den im Bereich des Festkörpers 10 gewünschten Pumplichtfleck fokussiert.

Der ausfallende Ast 34₁ verläuft daher ausgehend vom Festkörper 10 aus divergent und trifft auf eine als Ganzes mit 50 bezeichnete Refokussierungsoptik, welche im einfachsten Fall, wie in Figur 2 dargestellt, als refokussierter Spiegel, vorzugsweise als refokussierter Hohlspiegel, ausgebildet ist,

- 16 -

welcher den ausfallenden Ast 34₁ in einen einfallenden Ast 32₂, für den Festkörper 10₂ abbildet, aus dem dann wiederum ein ausfallender Ast 34₂ austritt, der seinerseits auf die Refokussierungsoptik 50₂ trifft, die den ausfallenden Ast 34₂ wiederum in einen einfallenden Ast 32₃ ausbildet, welcher in den Festkörper 10₃ eintritt und von dem entsprechenden Reflektor 16₃ wiederum reflektiert wird und als ausfallender Ast 34₃ auf eine dritte Refokussierungsoptik 50₃ trifft, die den ausfallenden Ast 34₃ in einen einfallenden Ast 32₄ abbildet, der auf den Festkörper 10₄ trifft, von dem Reflektor 16₄ desselben reflektiert wird und als ausfallender Ast 34₄ aus dem Festkörper 10 austritt.

Der einfallende Ast 32₂ und der ausfallende Ast 34₂, bilden gemeinsam einen auf den Pumpzweig 38₁ folgenden Pumpzweig 38₂, danach folgt, gebildet durch den einfallenden Ast 32₃ und den ausfallenden Ast 34₃, die Bildung eines weiteren Pumpzweiges 38₃ und schließlich durch den einfallenden Ast 32₄ und den ausfallenden Ast 34₄, die Bildung eines weiteren Pumpzweiges 38₄.

Alle Pumpzweige 38₁ bis 38₄, werden vom Pumpstrahlungsfeld nacheinander in Serie durchlaufen, wobei die entsprechenden Ebenen 36₁ bis 36₄, jeweils ein Winkel von $\leq 180^\circ$ miteinander einschließen. Beispielsweise sind in diesem Fall die Refokussierungsoptiken 50₁ bis 50₄, alternierend bezüglich der Linie 12 angeordnet.

Mit einer derartigen Reihe von Pumpzweigen 38₁ bis 38₄, lässt sich das laseraktive Medium in den vier Festkörpern 10₁ bis 10₄ gleichzeitig pumpen, wobei allerdings die Pumpintensität

WO 00/08726

PCT/EP99/05128

- 17 -

bei den laseraktiven Medien der einzelnen Festkörper 10 der Reihe sukzessive abnimmt, da beispielsweise der erste Festkörper 10, bereits einen Teil der Intensität des einfallenden Astes 32, bis zum Auftreffen desselben auf den Reflektor 16 absorbiert, so daß bereits der ausfallende Ast 34, bei seinem Ausgangspunkt auf dem Reflektor 16 eine geringere Intensität aufweist, die sich aufgrund des nochmaligen Durchsetzens des Festkörpers 10 weiter verringert.

Nach dem ersten Ast 38₁ wird das hinsichtlich seiner Intensität reduzierte Pumpstrahlungsfeld durch die Refokussierungsoptik 50₁ erneut auf den Festkörper 10₂ in Form des einfallenden Astes 32₂ auf den zweiten Festkörper 10₂ fokussiert, wobei wiederum im zweiten Pumpzweig 38₂ die Intensität des Pumpstrahlungsfeldes beim zweifachen Durchgang durch den Festkörper 10₂ abnimmt, so daß bereits am Ende des zweiten Pumpzweigs 38₂ eine durch insgesamt 4-fachen Durchgang durch einen Festkörper 10 reduzierte Intensität für das Pumpen des dritten Festkörpers 10₃ zur Verfügung steht, wobei dann das Pumpen des dritten Festkörpers 10₃ erneut aufgrund des 2-fachen Durchgangs durch den Festkörper Intensität absorbiert und schließlich die im vierten Pumpzweig 38₄ zum Pumpen des Festkörpers 10₄ zur Verfügung stehende Intensität bereits durch eine aufgrund eines 6-fachen Durchgangs durch eine der Festkörper 10₁ bis 10₄ verringert ist.

Nachdem alle vier Festkörper 10₁ von dem Pumpstrahlungsfeld mit den Ästen 38₁ bis 38₄ im Rahmen eines ersten Pumpstrahlungsdurchlaufs durchlaufen sind, bleibt in der Regel im ausfallenden Ast 34₁ noch eine nennenswerte Intensität vor, so

WO 00/08726

PCT/EP99/05128

- 18 -

daß es sich anbietet, die Refokussierungsoptik 50₄ so auszubilden, daß diese den Lichtweg im ersten Pumpstrahlungsdurchlauf umkehrt und den ausfallenden Ast 34₄ in sich zurückreflektiert, so daß insgesamt die gesamten Pumpzweige 38₄, 38₃, 38₂ und 38₁ vom Pumpstrahlungsfeld in umgekehrter Reihenfolge durchlaufen und somit auch die Festkörper 10₄, 10₃, 10₂ und 10₁ in dieser Reihenfolge nochmals gepumpt werden.

Damit ist bereits aufgrund des ersten Pumpstrahlungsdurchlaufs die Möglichkeit geschaffen, vier Festkörper 10₁ bis 10₄ mit jeweils vier Durchgängen des Pumpstrahlungsfeldes zu pumpen.

Um bei vier Festkörpern 10₁ bis 10₄ eine möglichst gleich große Pumpleistungsdichte in jedem der Festkörper 10₁ bis 10₄ für das laseraktive Medium zur Verfügung zu haben, wird erfindungsgemäß ein zweiter Pumpstrahlungsdurchlauf erzeugt, welcher ausgehend von einem ankommenden kollimierten Pumpstrahlungsfeldes 142 über eine Fokussierungsoptik 140 durch ein Pumpstrahlungsfeld gebildet ist, welches einen ausgehend von der Fokussierungsoptik 140 einfallenden Ast 132₁ bildet, der in den Festkörper 10₄ eintritt und von dessen Reflektor 16₄ in den ausfallenden Ast 134₁ reflektiert wird. Dieser wird mittels einer Refokussierungsoptik 150₁ reflektiert in einen einfallenden Ast 132₂, welcher in den Festkörper 10₃ einfällt, von dessen Reflektor 16₃ in Form eines ausfallenden Astes 134₂ reflektiert wird und auf eine Refokussierungsoptik 150₂ trifft, die wiederum diesen in einen einfallenden Ast 132₃ abbildet, welcher in den Festkörper 10₂ einfällt, von dessen Reflektor 16₂ reflektiert wird und als ausfallender

- 19 -

Ast 134₃ auf eine Refokussierungsoptik 150₃ trifft, welche einen einfallenden Ast 132₄ bildet, der in den Festkörper 10₁ einfällt, von dessen Reflektor 16₁ reflektiert wird und als ausfallender Ast 134₄ auf eine Refokussierungsoptik 150₄ trifft, die beispielsweise ebenfalls als den Lichtweg umkehrender Spiegel ausgebildet ist.

Somit umfaßt der zweite Pumpstrahlungsdurchlauf analog dem ersten die Pumpzweige 138₁, 138₂, 138₃ und 138₄, die jedoch in ihrer Reihenfolge auf die Festkörper 10₁ bis 10₄ mit umgekehrter Reihenfolge wie beim die Pumpzweige 38₁ bis 38₄ auftreffen, so daß durch den zweiten Pumpstrahlungsdurchlauf der Festkörper 10₄ am stärksten gepumpt wird und sukzessive die absorbierte Pumpleistung bis zum Festkörper 10₁ abnimmt, während durch den ersten Pumpstrahlungsdurchlauf der erste Festkörper 10₁ am stärksten gepumpt wird und die absorbierte Pumpleistung bis zum Festkörper 10₄ sukzessive abnimmt.

Ferner liegen die Pumpzweige 138₁ bis 138₄ in Ebenen 136₁ bis 136₄, welche mit den Ebenen 36₁ bis 36₄ jeweils im Bereich des jeweiligen Festkörpers 10₁ bis 10₄ nicht zusammenfallen, vorzugsweise im Winkel zueinander verlaufen, so daß jeder der Festkörper 10₁ bis 10₄ von zwei in unterschiedlichen Ebenen liegenden Pumpzweigen, nämlich einem ersten Pumpzweig 38 und einem zweiten Pumpzweig 138 durchsetzt ist, und aufgrund dieser der im Winkel zueinander verlaufenden Ebenen 36 bzw. 136 in zwei unterschiedlichen Richtungen durch reflektiertes Pumpstrahlungsfeld gepumpt ist, wobei vorzugsweise die Ebenen 36 und 136 im Bereich des jeweiligen Festkörpers 10 quer, noch besser im Winkel von größtenordnungsmäßig 90° zueinander

WO 00/08726

PCT/EP99/05128

- 20 -

verlaufen, um eine bezüglich eines Schnittpunktes S der Ebenen 36, 136 möglichst symmetrische Verteilung des Pumpstrahlungsfeldes im jeweiligen Festkörper 10₁ bis 10₄ zu erreichen.

Besonders kompakt läßt sich das erfindungsgemäße Laserverstärkersystem dann aufbauen, wenn die Reflektoren 16₁ bis 16₄, Reflexionsflächen 17₁ bis 17₄, aufweisen, die sich in einer gemeinsamen Ebene erstrecken und wenn durch die Linie 12 hindurch eine Symmetrieebene 13 verläuft, welche senkrecht auf den Reflektorflächen 17₁ bis 17₄ steht und dabei die Refokussierungsoptiken 50₁ bis 50₄, sowie 150₁ bis 150₄, beiderseits der Ebene 13 angeordnet sind. In Längsrichtung der Linie 12 wechseln vorzugsweise paarweise einander gegenüberliegende Refokussierungsoptiken, beispielsweise die Refokussierungsoptiken 50₁ und 150₃, 150₂ und 50₂, sowie 50₃ und 150₁ mit Festkörpern 10 ab, das heißt, auf den Festkörper 10₁ folgt längs der Linie 12 betrachtet das Paar von Refokussierungsoptiken 50₁ und 150₃, dann folgt der Festkörper 10₂, dann das Paar von Refokussierungsoptiken 150₂ und 50₂, dann der Festkörper 10₃, dann das Paar von Refokussierungsoptiken 50₃ und 150₁ und schließlich der Festkörper 10₄.

Vorzugsweise sind bei der erfindungsgemäßen Lösung auch die Schnittlinien der Ebenen 36 und 136 so gelegt, daß sie möglichst zentrisch zu den Festkörpern 10₁ bis 10₄ liegen und vorzugsweise verläuft die Linie 12, längs welcher die Festkörper 10₁ bis 10₅ angeordnet sind, durch die Schnittlinien S der jeweiligen Ebenen 36 und 136 in den jeweiligen Festkörpern 10₁ bis 10₄.

- 21 -

Bei dem ersten in Fig. 1 und 2 dargestellten Ausführungsbeispiel sind zur Erzeugung der beiden Pumpstrahlungsfelder 30 und 130 beispielsweise zwei verschiedene Pumpstrahlungsquellen vorgesehen. Es besteht aber auch die Möglichkeit, das Pumpstrahlungsfeld einer Pumpstrahlungsquelle aufzuteilen und über Lichtleiter den jeweiligen Fokussierungsoptiken 40 und 140 zuzuführen.

Bei einem zweiten Ausführungsbeispiel, dargestellt in Fig. 3 ist die Refokussierungsoptik 50₄ nicht so ausgebildet, daß sie den ausfallenden Ast 34₄ in sich zurückreflektiert, sondern den ausfallenden Ast 34₄ auf einen Umlenkspiegel 60 umlenkt, welcher diesen wiederum auf eine Refokussierungsoptik 62 abbildet, die die Fokussierungsoptik 140 ersetzt und wiederum den einfallenden Ast 132₁ bildet, welcher damit letztlich das aus dem ausfallenden Ast 34₄ durch Umlenken mittels der Umlenkskopfik 60 und der Refokussierungsoptik 62 gebildet ist.

Im übrigen ist das zweite Ausführungsbeispiel mit dem ersten identisch, so daß auf die Ausführung hierzu vollinhaltlich Bezug genommen werden kann.

Bei diesem Ausführungsbeispiel haben allerdings die zweiten Pumpzweige 138₁ bis 138₄ jeweils eine geringere Intensität als die ersten Pumpzweige 38₁ bis 38₄, da die Anfangsintensität des einfallenden Astes bei dem zweiten Pumpstrahlungsdurchlauf mit den Pumpzweigen 138₁ bis 138₄, der Ausgangsintensität des ausfallenden Astes 34₄, des ersten Pumplichtdurchlaufs mit den Pumpzweigen 38₁ bis 38₄, entspricht.

WO 00/08726

PCT/EP99/05128

- 22 -

Dennoch kann bei dem zweiten Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 3 ein Pumpen jedes der Festkörper 10₁ bis 10₄, in den zwei quer zueinander verlaufenden Ebenen 36 und 136 erfolgen.

Bei einem dritten Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Laserverstärkersystems, dargestellt in den Figuren 4 bis 6, sind die Festkörper 10₁ bis 10₄, ebenfalls längs der Linie 12 angeordnet.

Im Gegensatz zum ersten Ausführungsbeispiel und zum zweiten Ausführungsbeispiel umfaßt jede der Refokussierungsoptiken 50₁ bis 50₃, nicht nur keinen Hohlspiegel, welcher den ausfallenden Ast 34₁ des ersten Pumpzweiges 38₁ auf den einfallenden Ast 32₂ des zweiten Pumpzweiges 38₂ abbildet, sondern ein kollimierendes Element 52₁, welches den ausfallenden Ast 34₁ in einen ersten Teilast 54a eines kollimierten Astes 54 abbildet, eine Umlenkoptik 56, welche den ersten kollimierten Teilast 54a in einen zweiten kollimierten Teilast 54b abbildet und eine Fokussierungsoptik 58, welche den zweiten kollimierten Teilast 54b in den einfallenden Ast 32₂ abbildet.

In gleicher Weise sind die Refokussierungsoptiken 50₂ und 50₃ ausgebildet.

Dabei wird in gleicher Weise wie beim ersten Ausführungsbeispiel das Prinzip beibehalten, daß die jeweiligen Festkörper 10₁ bis 10₄, vom ersten Pumpzweig 38₁ bis 38₄, des ersten Pumpstrahlungsdurchlaufs des Pumpstrahlungsfeldes 30 durchsetzt sind.

WO 00/08726

PCT/EP99/05128

- 23 -

Auch die Refokussierungsoptiken 150₁ bis 150₃ kollimieren den ausfallenden Ast 134₁ mittels eines kollimierenden Elements 152₁, welches einen Teilstast 154a eines kollimierten Astes 154₁ bildet, der über das Umlenkelement 56 in den zweiten Teilstast 154 jedes kollimierten Astes 154₁ abgebildet wird und auf das fokussierende Element 158₁ tritt, welches den zweiten Teilstast 154b in den einfallenden Ast 132₂ abbildet, der in den Festkörper 10₃ einfällt.

In gleicher Weise sind die übrigen Refokussierungsoptiken 150₂ und 150₃ ausgebildet.

Ferner ist bei dem dritten Ausführungsbeispiel, wie in Fig. 6 dargestellt, ein als Ganzes mit 70 bezeichneter Resonator vorgesehen, dessen Resonatorstrahlungsfeld 72 alle Festkörper 10₁ bis 10₄ durchsetzt. Der Resonator 70 weist zur Ausbildung des Resonatorstrahlungsfeldes 72 zwei Endspiegel 74 und 76 auf, und zusätzlich zwischen den Festkörpern 10₁ bis 10₄ angeordnete Umlenkspiegel 76₁ bis 76₃, während außerdem die den einzelnen Festkörpern 10₁ bis 10₄ zugeordneten Reflektoren 16₁ bis 16₄, gleichzeitig ebenfalls noch als Umlenkspiegel des Resonators 70 wirksam sind und auch das Resonatorstrahlungsfeld 72 reflektieren, so daß dieses beispielsweise von dem Endspiegel 74 zum Reflektor 16₁, von diesem zum Umlenkspiegel 76₁, von diesem zum Reflektor 16₂, von diesem zum Umlenkspiegel 76₂, von diesem zum Reflektor 16₃, von diesem zum Umlenkspiegel 76₃ und von diesem zum Reflektor 16₄, und dann zum Endspiegel 76 verläuft.

WO 00/08726

PCT/EP99/05128

- 24 -

Der Resonator für das Resonatorstrahlungsfeld braucht jedoch nicht zwingenderweise, wie in Fig. 6 dargestellt, so konzipiert sein, daß er alle Festkörper umfaßt. Es ist ebenfalls denkbar, jedem Festkörper einen eigenen Resonator zuzuordnen und dann die aus den jeweiligen Resonatoren austretenden Laserstrahlungsfelder entweder einzeln für einzelne Aufgaben zu verwenden oder zu überlagern.

Ein vierter Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Laserverstärkersystems, lediglich schematisch dargestellt in Fig. 7, basiert auf dem ersten Ausführungsbeispiel, wobei allerdings die einzelnen Festkörper 10₁ bis 10₄ nicht nur von dem ersten Pumpstrahlungsdurchlauf mit den ersten Pumpzweigen 38₁, 38₂, 38₃ und 38₄ durchsetzt ist und zusätzlich mit den Pumpzweigen 138₁, 138₂, 138₃ und 138₄ des zweiten Pumpstrahlungsdurchlaufs, sondern zusätzlich noch ein dritter Pumpstrahlungsdurchlauf und ein vierter Pumpstrahlungsdurchlauf vorgesehen sind, wobei der vierte Pumpstrahlungsdurchlauf durch zusätzliche Refokussierungsoptiken 250₁, 250₂, 250₃ und 250₄ gebildet ist, zwischen denen die dritten Pumpzweige 238₁, 238₂, 238₃ und 238₄ sich erstrecken. Auch zum vierten Pumpstrahlungsdurchlauf sind Refokussierungsoptiken 350₁, 350₂, 350₃, 350₄ vorgesehen, die die Pumpzweige 338₁, 338₂, 338₃ und 338₄, ineinander abbilden. Im übrigen ist vom Prinzip her das vierte Ausführungsbeispiel in gleicher Weise aufgebaut und arbeitet in gleicher Weise wie das erste Ausführungsbeispiel, so daß die gesamten Ausführungen zum ersten Ausführungsbeispiel hinsichtlich der Ebenen, in welchen die Pumpzweige 38, 138, 238 und 338 liegen, auch für das dritte Ausführungsbeispiel gelten.

WO 00/08726

PCT/EP99/05128

- 25 -

Der Vorteil des vierten Ausführungsbeispiels ist der, daß die Möglichkeit geschaffen ist, den jeweiligen Festkörper 10₁ bis 10₄ noch gleichmäßiger mit dem Pumpstrahlungsfeld zu pumpen.

WO 00/08726

PCT/EP99/05128

- 26 -

P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Laserverstärkersystem umfassend mehrere ein laseraktives Medium aufweisende Festkörpervolumina, eine Pumpstrahlungsquelle zur Erzeugung eines Pumpstrahlungsfeldes zum optischen Pumpen des laseraktiven Mediums, einen jedem Festkörpervolumen zugeordneten Pumpstrahlungsreflektor, der einen in das Festkörpervolumen einfallenden Ast des Pumpstrahlungsfeldes als ausfallenden Ast durch das Festkörpervolumen erneut so hindurchtreten läßt, daß der einfallende Ast und der ausfallende Ast in einer ersten Ebene liegend einen Winkel miteinander einschließen und einen ersten Pumpzweig bilden, einen ersten Pumpstrahlungsdurchlauf durch die Festkörpervolumina, in welchem die ersten Pumpzweige so aufeinanderfolgend angeordnet sind, daß die mehreren Festkörpervolumina vom Pumpstrahlungsfeld in einer ersten Sequenz durchlaufen werden, dadurch gekennzeichnet, daß jedes Festkörpervolumen von einem zweiten Pumpzweig (138) durchsetzt ist, dessen einfallender Ast (132) und dessen ausfallender Ast (134) in einer zweiten von der ersten Ebene (36) verschiedenen Ebene (136) liegen und in dieser einen Winkel einschließen, daß ein zweiter Pumpstrahlungsdurchlauf (138₁ bis 138₄) vorgesehen ist in

- 27 -

welchem die zweiten Pumpzweige (138) der mehreren Festkörpervolumina (10) so aufeinander folgend angeordnet sind, daß die Festkörpervolumina (10) vom Pumpstrahlungsfeld in einer zweiten Sequenz durchlaufen werden.

2. Laserverstärkersystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in der zweiten Sequenz die Reihenfolge der Festkörpervolumina (10) bezogen auf die erste Sequenz geändert ist.
3. Laserverstärkersystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß jeder der Pumpstrahlungsdurchläufe (38₁ bis 38₄; 138₁ bis 138₄) von einer eigenen Pumpstrahlungsquelle (28, 128) gespeist ist.
4. Laserverstärkersystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Pumpstrahlungsdurchläufe (38₁ bis 38₄; 138₁ bis 138₄) von einer einzigen Pumpstrahlungsquelle (28) gespeist sind.
5. Laserverstärkersystem nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Pumpstrahlungsdurchläufe (38₁ bis 38₄; 138₁ bis 138₄) durch eine Umlenkkoptik (60) miteinander gekoppelt sind.
6. Laserverstärkersystem nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Pumpstrahlungsfeld jeden Pumpstrahlungsdurchlauf (38₁ bis 38₄; 138₁ bis 138₄) in zwei entgegengesetzten Richtungen durchläuft.

- 28 -

7. Laserverstärkersystem nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß an einem Ende jedes Pumpstrahlungsdurchlaufs ein Reflektor (50₁, 150₁) zugeordnet ist, der das Pumpstrahlungsfeld zurückreflektiert.
8. Laserverstärkersystem nach einem der voranstehenden Ansprüchen, dadurch gekennzeichnet, daß in der zweiten Sequenz die Reihenfolge der Festkörpervolumina (10) bezogen auf die erste Sequenz umgekehrt ist.
9. Laserverstärkersystem nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein weiterer Pumpstrahlungsdurchlauf (238₁ bis 238₄; 338₁ bis 338₄) vorgesehen ist, bei welchem das Pumpstrahlungsfeld (230, 330) die Festkörpervolumina (10) in Form mindestens einer weiteren Sequenz (238₁ bis 238₄; 338₁ bis 338₄) durchläuft.
10. Laserverstärkersystem nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die mindestens eine weitere Sequenz (238₁ bis 238₄; 338₁ bis 338₄) so verläuft, daß diese unterschiedlichen Pumpanregungen des laseraktiven Materials im Festkörpervolumina (10) durch die erste und die zweite Sequenz entgegenwirkt.
11. Laserverstärkersystem nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Pumpzweige (38₁ bis 38₄; 138₁ bis 138₄) eines Pumpstrahlungsdurchlaufs durch Refokussierungsoptiken (50, 150) gekoppelt sind.

- 29 -

12. Laserverstärkersystem nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Refokussierungsoptiken (50, 150) den ausfallenden Ast (34, 134) eines Pumpzweiges direkt in den entsprechenden der einfallenden Äste (32, 132) des nächsten Pumpzweiges umformen.
13. Laserverstärkersystem nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine der Refokussierungsoptiken (50', 150') als zwischenkollimierende Refokussierungsoptik (50', 150') ausgebildet ist und jeweils den ausfallenden Äste (34) über einen zwischenkollinierten Ast (54, 154) in den entsprechenden einfallenden Ast (32) umformen.
14. Laserverstärkersystem nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die zwischenkollimierenden Refokussierungsoptiken (50', 150') einen gefalteten kollinierten Ast (54, 154) aufweisen.
15. Laserverstärkersystem nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die zwischenkollimierenden Refokussierungsoptiken (50', 150') ein Umlenkelement (56) zur Faltung des zwischenkollinierten Astes (54, 154) aufweisen.
16. Laserverstärkersystem nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils eine der Refokussierungsoptiken (50', 150') des ersten und eine des zweiten Pumpstrahlungsdurchlaufs den jeweiligen zwischenkollinierten Ast auf ein gemeinsames Umlenkelement (56) abbilden.

- 30 -

17. Laserverstärkersystem nach einem der Ansprüche 13 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die zwischenkollimierenden Refokussierungsoptiken (50', 150') ein kollimierendes Element (52, 152) aufweisen, welches den jeweils ausfallenden Ast (34, 134) in den zwischenkollimierten Ast (54, 154) umformt.
18. Laserverstärkersystem nach einem der Ansprüche 13 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die zwischenkollimierenden Refokussierungsoptiken (50', 150') ein fokussierendes Element (58, 158) aufweisen, welches den zwischenkollimierten Ast (54, 154) in den jeweils einfallenden Ast (34, 134) abbilden.
19. Laserverstärkersystem nach einem der voranstehenden Ansprüche 10 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Refokussierungsoptiken (50, 150) Hohlspiegel umfassen.
20. Laserverstärkersystem nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Hohlspiegel als nichtsphärische Spiegel ausgebildet sind.
21. Laserverstärkersystem nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Hohlspiegel als elliptische Spiegel ausgebildet sind.
22. Laserverstärkersystem nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Hohlspiegel als parabolische Spiegel ausgebildet sind.

WO 00/08726

PCT/EP99/05128

- 31 -

23. Laserverstärkersystem nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Hohlspiegel als torische Spiegel ausgebildet sind.
24. Laserverstärkersystem nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Festkörpervolumina (10) längs einer Linie (12) angeordnet sind.
25. Laserverstärkersystem nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß alle Reflexionsflächen (17) der den Festkörpervolumina (10) zugeordneten Reflektoren (16) in einer gemeinsamen Ebene liegen.
26. Laserverstärkersystem nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Refokussierungselemente (50, 150) auf unterschiedlichen Seiten einer senkrecht auf den Reflexionsflächen (17) stehenden und durch die Linie (12) hindurchverlaufenden Fläche (13) liegen.
27. Laserverstärkersystem nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Ebenen (36, 136) in welchem die ersten und zweiten Pumpzweige (38, 138) liegen in einem Winkel kleiner gleich 90° schneiden.
28. Laserverstärkersystem nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Ebenen (36, 136) in welchem die ersten und zweiten Pumpzweige (38, 138) liegen, quer zueinander verlaufen.

- 32 -

29. Laserverstärkersystem nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die mehreren laseraktives Medium aufweisenden Festkörper angeordnet sind.
30. Laserverstärkersystem nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, daß jedes laseraktives Medium aufweisende Festkörpervolumen in einen eigenen Festkörper angeordnet ist.

WO 00/08726

PCT/EP99/05128

1 / 6

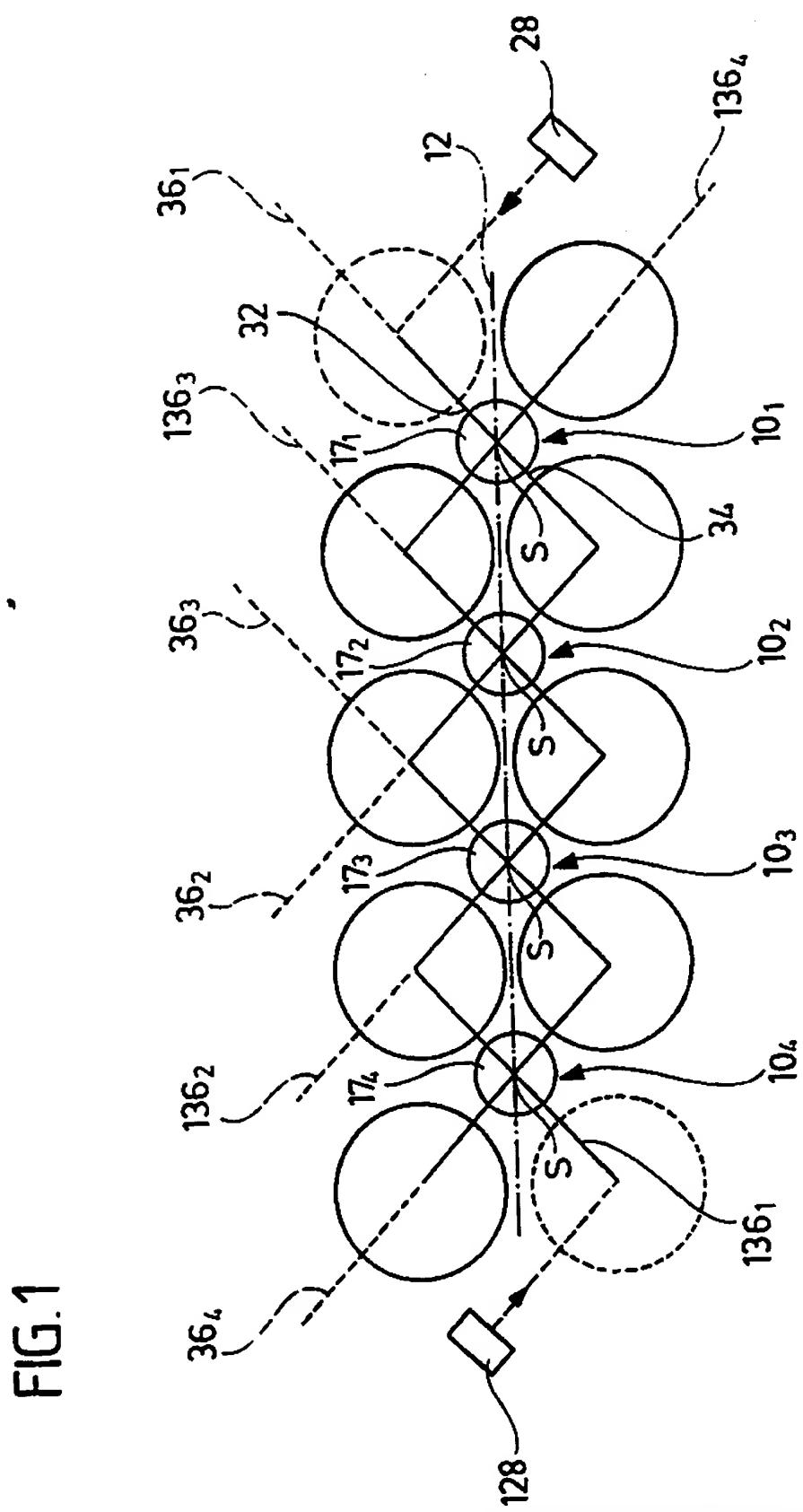
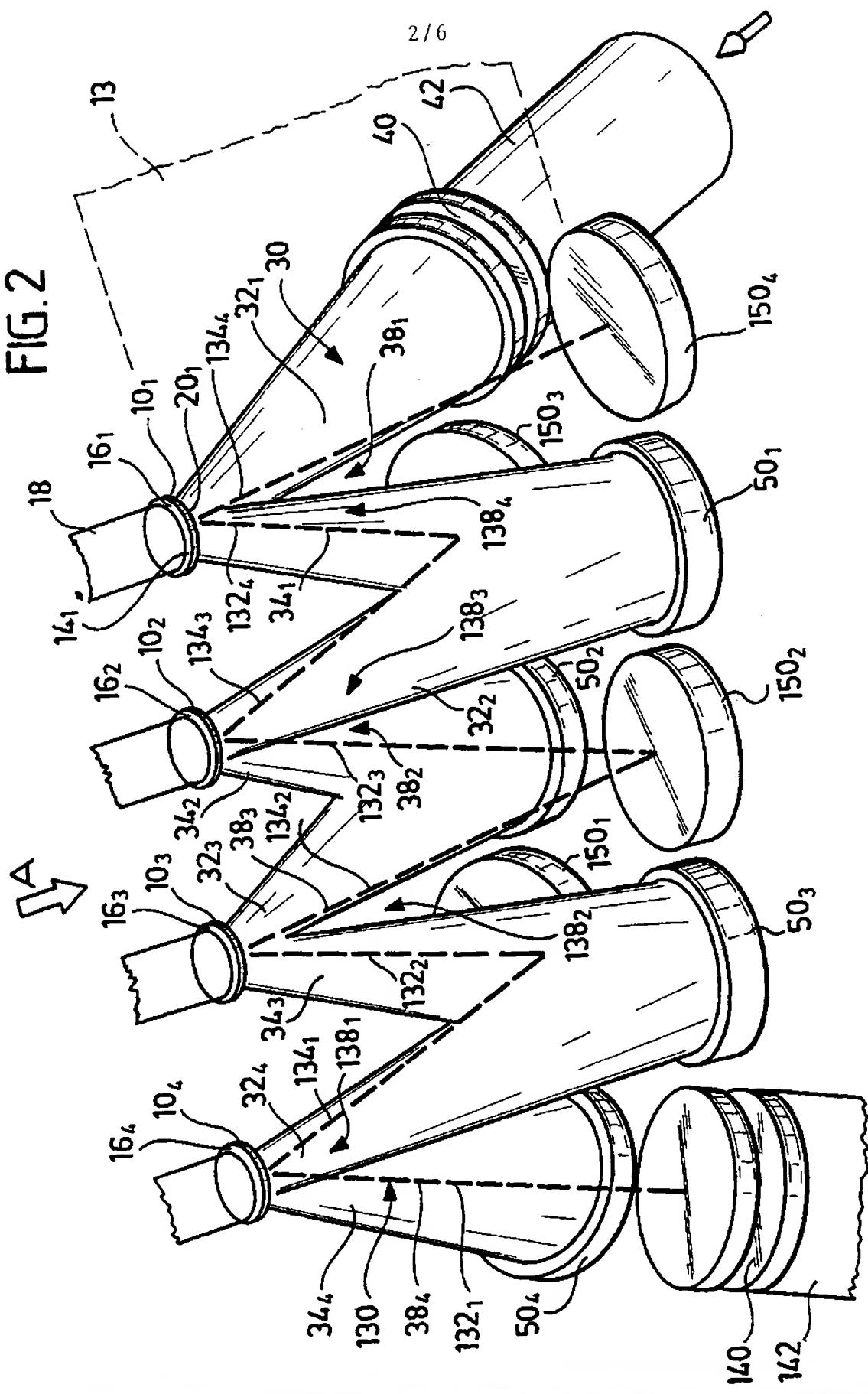


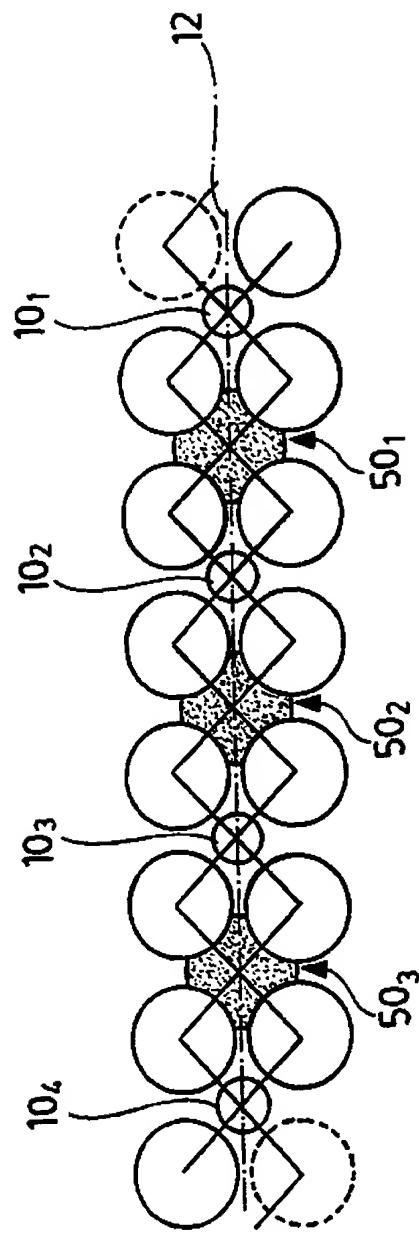
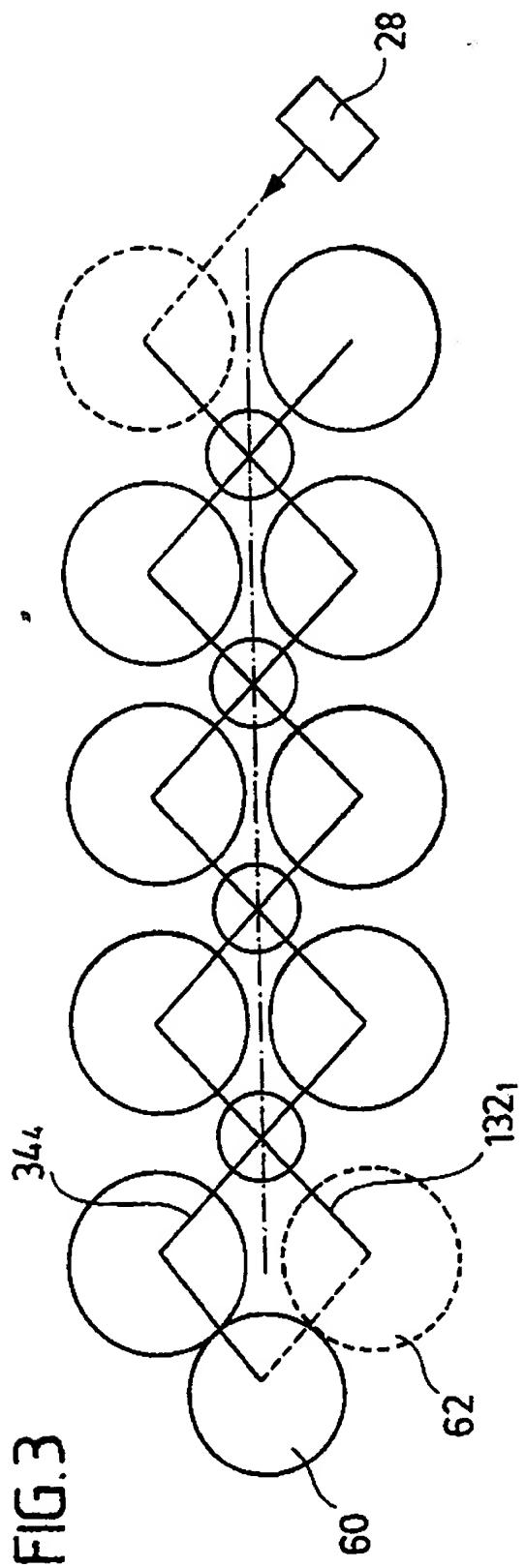
FIG. 2



WO 00/08726

PCT/EP99/05128

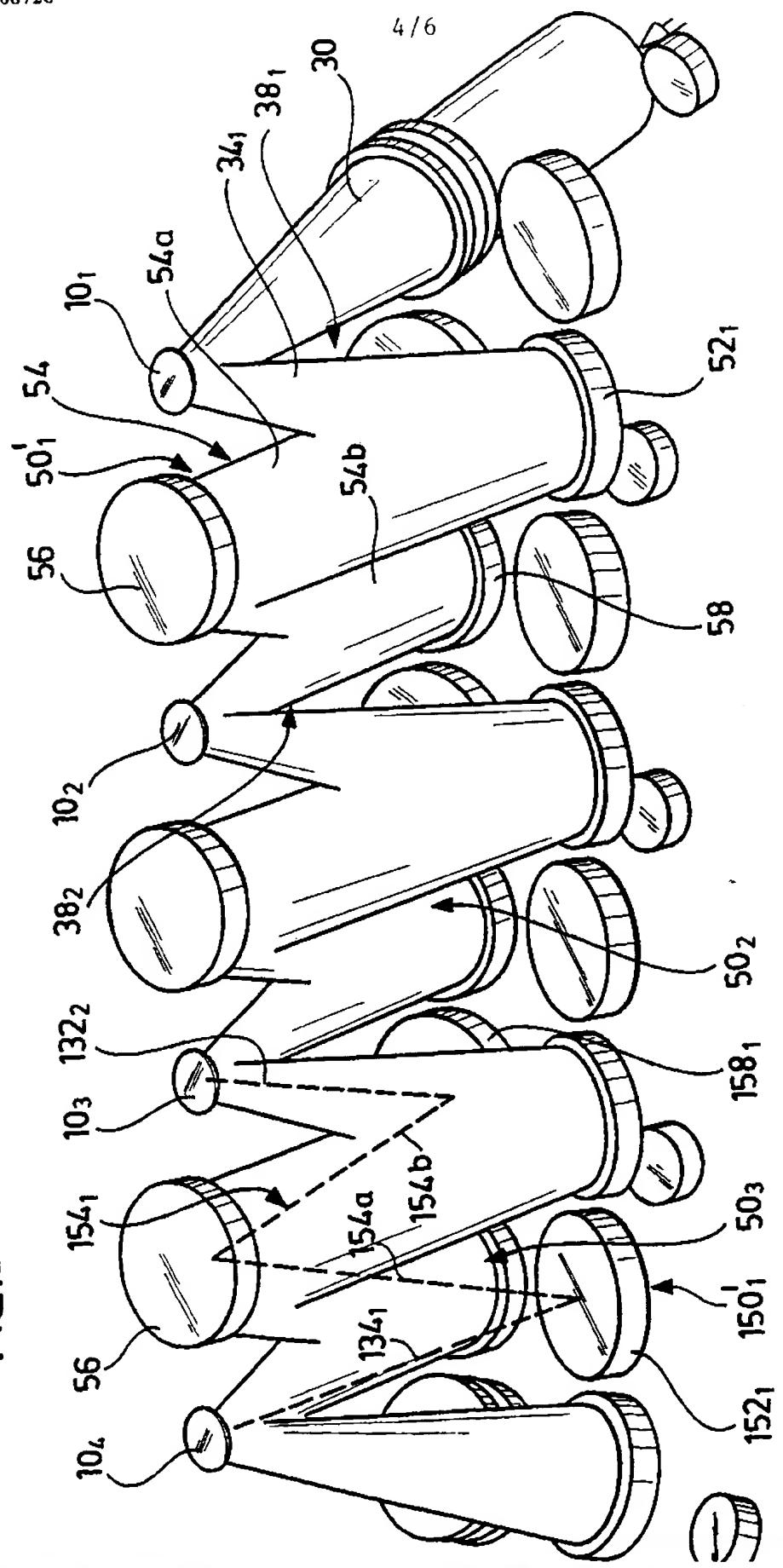
3/6



WO 00/08726

PCT/EP99/05128

FIG. 5



PCT/EP99/05128

WO 00/08726

5/6

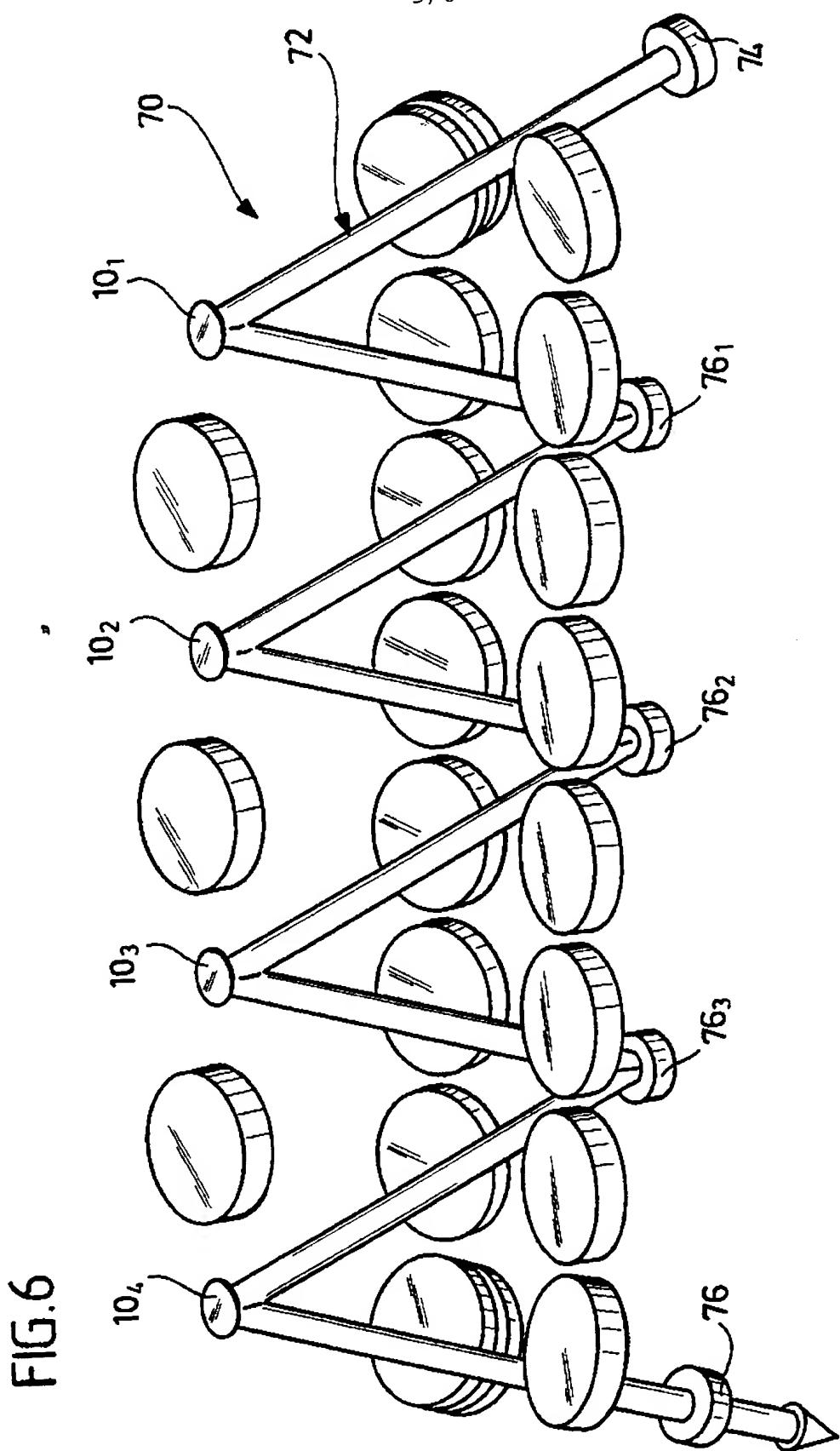


FIG. 6

WO 00/08726

PCT/EP99/05128

6 / 6

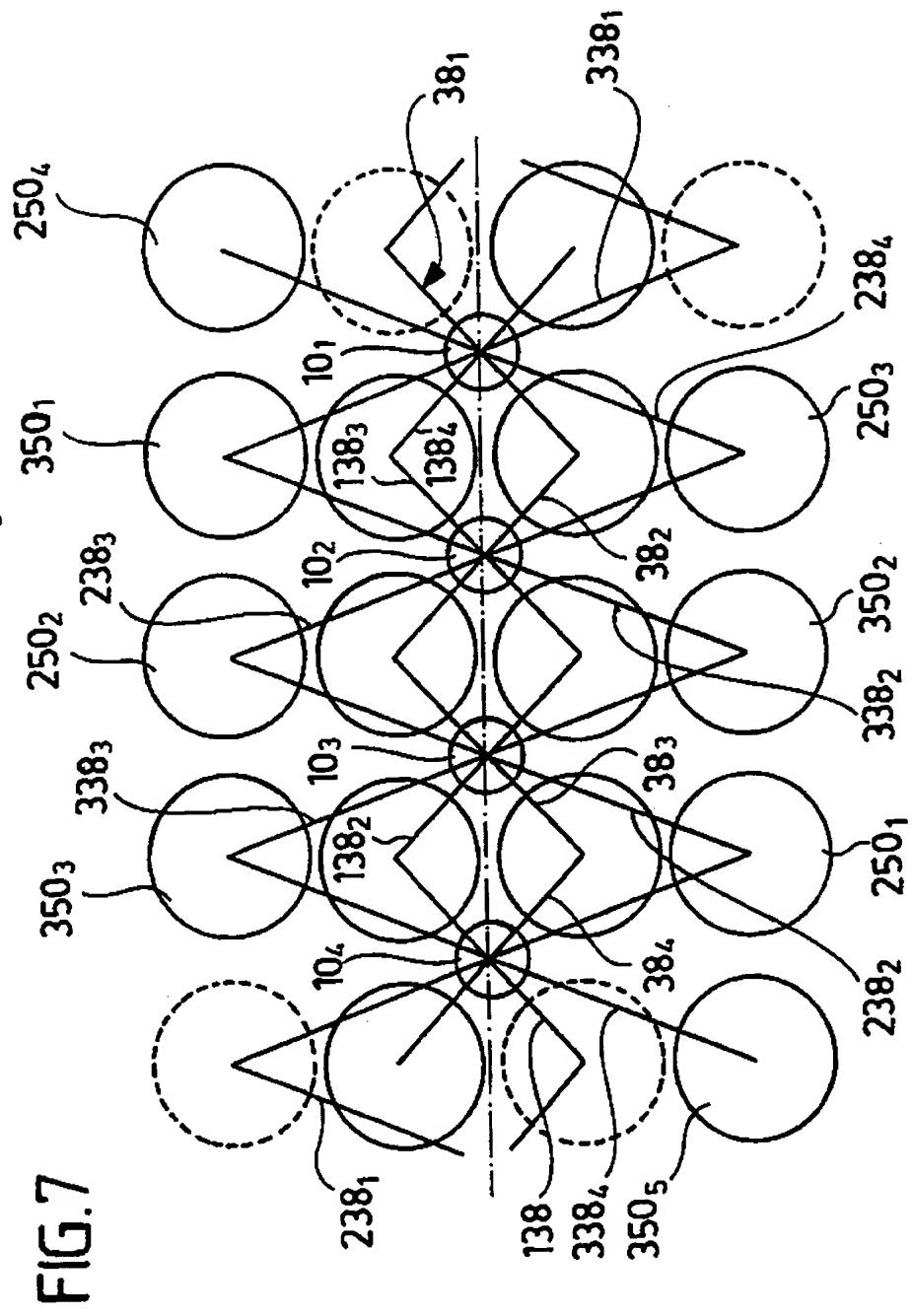


FIG. 7